

Fahrzeugmodelle für erweiterte Odometrie mit Satellitennavigation (in Simulation und Praxis)

Dipl.-Ing. Daniel Lüdicke, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), SR, Oberpfaffenhofen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Torsten Dellmann, RWTH Aachen University, IFS, Aachen

1 Einleitung

An der RWTH Aachen wird mit dem Vollbahn-Versuchsfahrzeug „IFS-Erprobungsträger 1“ (früher CargoMover) an erweiterten Odometrie-Anwendungen geforscht [1]. Im Rahmen der Forschungsprojekte Galileo above und SiPoS-Rail [2] sind z.B. ein auf Satellitennavigation (GNSS) basierender Rangierassistent und ein GNSS-Ortungsverfahren mit Wegmarken [3] entwickelt worden. Als erweiterte Odometriesensorik wird hier eine Kombination aus konventionellen Sensoren z.B. Wegimpulsgeber und Zusatzsensoren z.B. Satellitennavigation, Inertialsensorik oder elektronischen Wegmarken angesehen. Die Messung und Verarbeitung dreidimensionaler Daten ist jedoch aufwendiger als konventionelle Odometrie und benötigt ein erweitertes Modell der Schienenfahrzeugumgebung.

Für den IFS-Erprobungsträger hat sich eine umfangreiche Werkzeugkette zur Messdatenauswertung entwickelt. Parallel zur praktischen Arbeit am Versuchsfahrzeug ist eine Simulationsumgebung [4] entstanden, in der die Messfahrten vorbereitet und nachvollzogen werden. Aus virtuellen Messfahrten lassen sich weitere Erkenntnisse gewinnen.

Dieser Beitrag beschreibt die verwendeten Methoden zur systematischen Integration eines Schienenfahrzeugmodells und eines Umgebungsmodells mit absolutem Raumbezug, das für die Messdatenauswertung eines Versuchsfahrzeuges und in einer Simulationsumgebung verwendet wird.

2 Fahrzeugmodell

Schienenfahrzeuge verfügen neben einem langen Wagenkasten über zwei Drehgestelle und meist vier Radsätze, die eine Verbindung zum Fahrweg herstellen. Die Position und Bewegung der Drehgestelle und Radsätze unterscheiden sich deutlich vom Wagenkasten, sodass für alle großen Fahrzeugteile ein eigenes Körperkoordinatensystem notwendig ist. Die an den Fahrzeugteilen angebrachten Objekte z.B. Sensoren sind in den Körperkoordinatensystemen der Fahrzeugteile verortet. Aus den geometrischen Zusammenhängen auf dem Schienenfahrzeug leitet sich eine Modellvorstellung mit der Definition der Koordinatensysteme ab.

Bei der praktischen Arbeit auf einem Schienenfahrzeug müssen alle Positionen in einem Körperkoordinatensystem messbar sein, sonst ist die Positionsbestimmung nicht anwendbar. Die körperfesten Koordinatensysteme sind an markanten und am realen Fahrzeug messbaren Kanten und Flächen definiert. In Abb. 1 wird diese Methodik auf das Versuchsfahrzeug angewendet. An den großen, sich relativ zueinander bewegenden Fahrzeugteilen Wagenkasten (WK), Wiegenträger (WT) und Drehgestelle (DG) wird je ein eigenes körperfestes Koordinatensystem definiert.

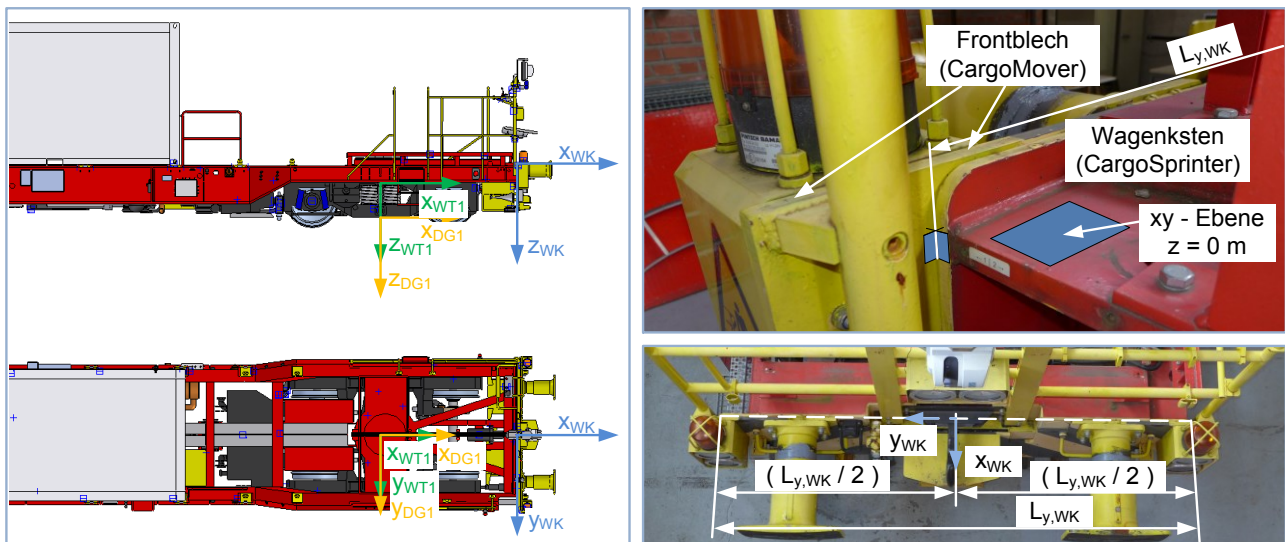


Abb. 1 links: Koordinatensysteme des Versuchsfahrzeuges „IFS-Erprobungsträger 1“ am CAD-Modell, Seitenansicht (oben), Draufsicht (unten), rechts: Definition der Messpositionen des Wagenkasten-Koordinatensystems KS-WK an der Fahrzeugspitze in Fahrtrichtung FR1

Die absolute Position der (Fahrzeug-)Körperkoordinatensysteme und der darin verorteten Objekte ergibt sich aus der absoluten dreidimensionalen Lage des Fahrweges. Ein Punkt in einem Fahrzeugkoordinatensystem wird mit einer Kilometrierung und Richtung auf dem Fahrweg verortet.

3 Erdfestes Umgebungsmodell

Das geodätische Basiskoordinatensystem für dreidimensionale Positions- und Bewegungsangaben ist das ECEF-Koordinatensystem des WGS84-Datums. Dies ist ein kartesisches erdfestes Koordinatensystem mit dem Ursprung am Erdmittelpunkt. Davon ausgehend werden alle Koordinatensysteme innerhalb und außerhalb des Schienenfahrzeuges durch Koordinatentransformationen erreicht.

Der Fahrweg wird durch eine Abfolge von geometrischen Grundformen (Primitive) wie Gerade, Bogen, Übergangsbogen (Trassierung) festgelegt und die Gleise zu einem Gleisnetz verbunden. Zur Fahrweggenerierung wird über dem Erdboden des Testgebietes ein lokales kartesisches Koordinatensystem definiert (Abb. 2 links), dessen Fußpunkt und Ausrichtung im ECEF-Koordinatensystem bekannt ist. In einem Softwarepaket wird die Streckendefinition in das railML-Format übersetzt. Ein Streckenatlas-Server kann aus einer Streckendefinition und einem Fahrplan einzelne Fahrwege in verschiedenen Datenformaten z.B. für SIMPACK oder MATLAB generieren. Die Rücktransformation von z.B. SIMPACK-Isys in das ECEF-Koordinatensystem wird ebenfalls erzeugt.

Alle Mess- und Simulationsdaten sind auf die koordinierte Weltzeit UTC synchronisiert. Auf dem Versuchsfahrzeug dienen die GNSS-Sensoren (Satellitenavigation) als Zeitnormal. In der Simulationsumgebung wird die absolute Zeitbasis aus einer UTC-Startzeit und der Simulationszeit gebildet. Die Kombination aus absoluter Positionsangabe (ggf. mit Richtungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektor) und absolutem Zeitpunkt ergibt eine eindeutige Bewegungsbeschreibung.

4 Simulationsergebnisse

Zur Darstellung der geometrischen Verhältnisse auf dem Versuchsfahrzeug sind in Abb. 2 (rechts) als Draufsicht die Streckendefinition und die Spur charakteristischer Fahrzeugpositionen und Positionssensoren eingezeichnet. Zur Validierung sind die gemessenen Positionen einer realen Messfahrt („IFS-Erprobungsträger 1“, EPT) und die nachvollzogene virtuelle Messfahrt in der Simulationsumgebung (SimU) zum gleichen Zeitpunkt dargestellt. In der Mitte des Diagramms ist die vermessene Position einer Wegmarke eingezeichnet. Der Gleisbogen hat an dieser Stelle einen Radius von 700m mit einer Überhöhung von 150mm. Neben der geometrischen Verteilung der Positionssensoren über dem Fahrzeug zeigt sich ein charakteristischer Versatz zum Bogeninneren.

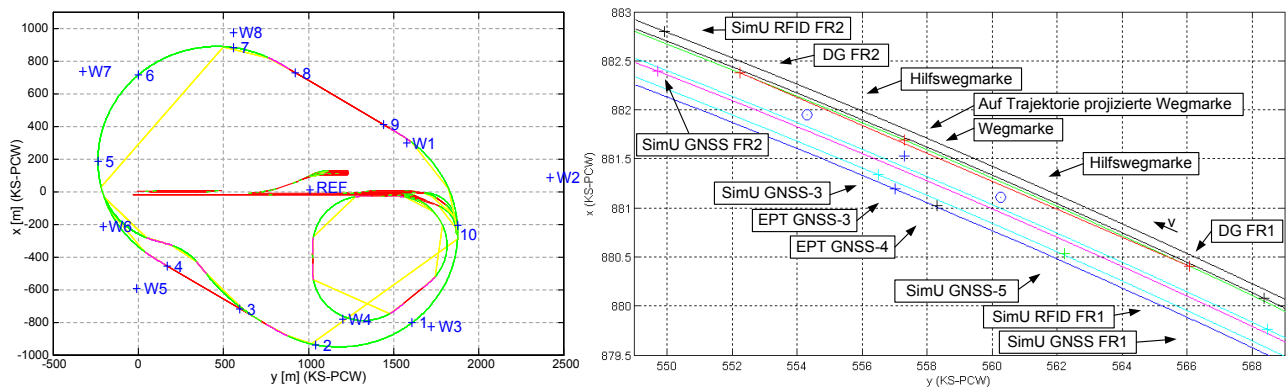


Abb. 2 links: Streckendefinition des Siemens Prüf- und Validationcenters in Wildenrath (PCW) mit Wegmarken (+1..+10) und railGATE-Masten (W1-W8), rechts: Geometrische Situation des „IFS-Erprobungsträger 1“ im Bogen (Draufsicht) an Wegmarke 7

5 Kombination der Fahrzeug- und Umgebungskoordinatensysteme in Sensormodellen

Die Kombination aus Fahrzeugkoordinatensystemen und allgemeinen Umgebungskoordinatensystemen ergibt neue Möglichkeiten der Interaktion von Fahrzeug und Umgebung. In dem Sensormodell des railGATE-Testzentrums für Galileo-Satellitenavigation [5] können die Abstände und Richtungen der Pseudolitenmasten (W1-W8) zu einer auf dem simulierten Fahrzeug angebrachten virtuellen GNSS-Antenne (SimU GNSS-3) berechnet werden (Abb. 3).

Ein Satellitenbahnmodell generiert zusätzlich die idealen und realitätsnahen GNSS-Satellitenabstände (Truerange, Pseudorange). Sensormodelle von Wegmarken mit einer Geoposition oder Kilometrierung z.B. ETCS-Balisen sind ebenfalls darstellbar.

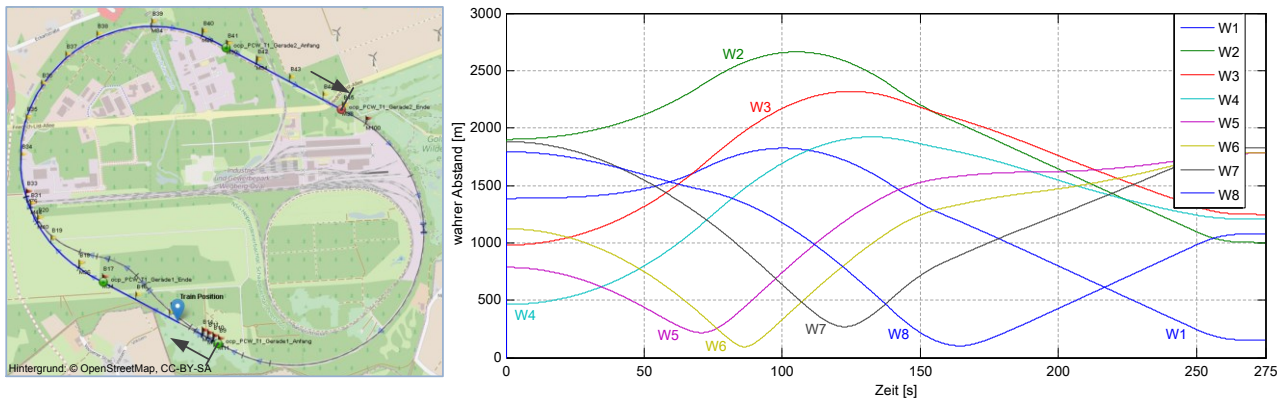


Abb. 3 links: Fahrweg im Szenario-Live-Viewer der Simulationsumgebung, rechts: Distanzen zwischen den railGATE-Pseudolite-antennen und der GNSS-Antenne

Abb. 3 zeigt auf der linken Seite ein Simulationsszenario bei dem ein simuliertes Schienenfahrzeug auf der südlichen Gerade auf 80km/h beschleunigt, im Bogen auf 40km/h abbremst und auf der nördlichen Gerade wieder zum Stehen kommt. Auf dem Schienenfahrzeug befindet sich eine virtuelle GNSS-Antenne, die durch einen Marker in dem Mehrkörpersimulationsmodell des Schienenfahrzeuges repräsentiert wird. Die Positionen der railGATE-Pseudolite-Sender sind bereits in Abb. 2 als W1-W8 eingezeichnet. In Abb. 3 (rechts) ist der ideale Abstand zwischen der virtuellen GNSS-Antenne auf dem simulierten Schienenfahrzeug und allen railGATE-Pseudoliten-Sendeantennen dargestellt. Den idealen Simulationsdaten lassen sich weitere physikalische und technische Störungs- sowie Fehlersignale aufprägen. Mit diesem und weiteren simulierten Sensorsignalen lässt sich eine Software-in-the-Loop (SiL) Simulationsumgebung aufbauen, in der einzelne Algorithmen oder die gesamte Rapid-Control-Prototyping (RCP, dSPACE) Steuerungssoftware des Versuchsfahrzeuges „IFS-Erprobungsträger 1“ getestet werden kann.

6 Literaturangaben

- [1] Eßer, F., Lüdicke, D. u. Dellmann, T.: Der IFS-Erprobungsträger 1. Eisenbahn-Versuchsfahrzeug der RWTH Aachen für automatisches Fahren und Lokalisierungsanwendungen im Schienenverkehr. POSNAV - Positionierung und Navigation für intelligente Verkehrssysteme. Berlin 2014
- [2] Lüdicke, D., Rütters, R. u. Dellmann, T.: Sichere Positionierung eines Schienenfahrzeuges für automatische Rangierbewegungen. 12. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden. Dresden 2012
- [3] Rütters, R. M.: Autonome Positionsbestimmung von Schienenfahrzeugen unter Verwendung differentieller GNSS-Verfahren, Universität RWTH Aachen. Dissertation. Aachen 2014
- [4] Lüdicke, D., Eßer, F., Marchand, T. u. Dellmann, T.: Modular Multi-Domain Co-Simulation for Rail Vehicle Testing with ETCS Scenario Control. Summer Simulation Multi-Conference (SCSC). Monterey, USA 2014
- [5] Pölöskey, M.: GALILEO-Anwendungszentrum für bodengebundenen Verkehr. ZEVrail Glasers Annalen 136 (2012) 4, S. 149–153

7 Veröffentlichungshinweis

Die Vortragsinhalte sind Teil der Dissertation „Schienenfahrzeug- und Umgebungssimulation mit absolutem Raum- und Zeitbezug“ von Daniel Lüdicke an der RWTH Aachen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ziel2.NRW

Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung